

**MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK**

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
GUERRA ELETRÔNICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PERSPECTIVAS DA GUERRA ELETRÔNICA NO SÉCULO XXI: Um enfoque nos
navios-escoltas da esquadra brasileira**



1º TEN MARCOS PAULO DA CUNHA DO NASCIMENTO

Rio de Janeiro
2021

1º TEN MARCOS PAULO DA CUNHA DO NASCIMENTO

PERSPECTIVAS DA GUERRA ELETRÔNICA NO SÉCULO XXI: Um enfoque nos navios-escoltas da esquadra brasileira

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica.

Orientadores:

Gelza de Moura Barbosa, CMG (RM1-EN)

William Sathler Lino Soares, CT

CIAW
Rio de Janeiro
2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

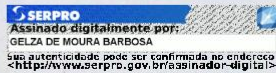
1º TEN MARCOS PAULO DA CUNHA DO NASCIMENTO

PERSPECTIVAS DA GUERRA ELETRÔNICA NO SÉCULO XXI: Um enfoque nos navios-escoltas da esquadra brasileira

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica.

Aprovada em _____ de _____ de 2021.

Banca Examinadora:



CMG (RM1-EN) Gelza de Moura Barbosa – CIAW

CT William Sathler Lino Soares – CIAW

HELIOS MALEBRANCHE Assinado de forma digital por
OLBRISCH FRESSES HELIOS MALEBRANCHE OLBRISCH
FILHO:50476718791 FRESSES FILHO:50476718791
Dados: 2021.05.27 10:36:03 -03'00'

Helios Malebranche, Prof. Dr. – PUC-Rio

CIAW
Rio de Janeiro
2021

À minha esposa, minha razão de viver.

AGRADECIMENTOS

A Deus por minha vida e por dar-me força e oportunidade de estar nessa Instituição e torna-me o que sou.

À minha esposa pelo amor e incentivo incomensuráveis a todo instante.

Aos meus pais pelas muitas orações.

Aos meus amigos que com fraternidade sempre me motivaram e me incentivaram durante a carreira.

À minha orientadora, CMG Gelza, pelas instruções e orientações neste trabalho.

E a todos que direta e indiretamente contribuíram neste trabalho e para esse meu período de formação.

“Education is the passport to the future, for tomorrow belongs to those who prepare for it today.”

Malcolm X

PERSPECTIVAS DA GUERRA ELETRÔNICA NO SÉCULO XXI: Um enfoque nos navios-escoltas da esquadra brasileira

RESUMO

A pesquisa apresenta o que se espera da GE baseado no fato da evolução tecnológica no século XXI com novos sistemas no cenário militar, mas com um enfoque nos navios-escoltas da esquadra brasileira. Para alcançar tal propósito, inicialmente, o trabalho contextualiza historicamente a GE, apresenta seu conceito e fundamentos, esclarece sobre Comando e Controle e sua vulnerabilidade no cenário atual. Por conseguinte, elenca alguns tipos de radares, apresenta os atuais sensores embarcados nos escoltas da MB e discorre sobre o radar tridimensional a bordo do NAM Atlântico, por ser destaque no aspecto modernidade. Em seguida, apresenta as perspectivas da GE, para a MB, com o projeto das Fragatas Classe Tamandaré, e de modo geral, com radares modernos que se encontram em meios de superfície de outras Marinhas. Ao final, conclui com análises acerca da evolução tecnológica e o surgimento colateral de ameaças modernas, da condição dos atuais sistemas dos escoltas e da consequência da introdução do radar tridimensional, encerra esclarecendo alguns desafios e responsabilidades esperados com o projeto da FCT.

Palavras-chave: Guerra Eletrônica. Radar. Marinha do Brasil. Esquadra brasileira. Escoltas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração de um ataque ciber-eletrônico em um navio.....	15
Figura 2.2 – Plataformas terrestres, marítimas e aéreas em um ambiente tático.....	17
Figura 4.1 – VANT equipado com tecnologia <i>Stealth</i> e armamentos.....	23
Figura 5.1 – Silhueta da Fragata Niterói Modernizada.....	28
Figura 5.2 – Fragata Classe Greenhalgh.....	29
Figura 5.3 – Corvetas Classe Inhaúma operando juntas.....	29
Figura 5.4 – Corveta Barroso.....	30
Figura 5.5 – Antena Radar Artisan 3D e suas características.....	31
Figura 5.6 – Antena Radar Artisan.....	33
Figura 6.1 – Projeto da Fragata Classe Tamandaré e seus sistemas.....	35
Figura 6.2 – Exemplo de como um radar LPI funciona.....	37
Figura 6.3 – Radar multifuncional de médio-alcance.....	41

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

C ²	Comando e Controle
DMN	Doutrina Militar Naval
EMM	Espectro Eletromagnético
FCN	Fragatas Classe Niterói
FCT	Fragatas Classe Tamandaré
GE	Guerra Eletrônica
MB	Marinha do Brasil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Apresentação do Problema	11
1.2 Justificativa e Relevância	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Etapas do Trabalho	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Sinopse Histórica da GE	14
2.2 Conceitos da GE	16
2.3 Literaturas Exploradas	18
3 METODOLOGIA	19
4 COMANDO E CONTROLE	20
4.1 Ataques cibernéticos à sistemas de controle	22
4.2 Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)	23
5 SISTEMAS	24
5.1 Tipos de Radares	24
5.2 GE nos escoltas da MB	27
5.3 NAM Atlântico e o novo radar ARTISAN 3D	30
6 PERSPECTIVA DA GE	34
6.1 Fragatas Classe Tamandaré	34
6.2 Radares Modernos	36
6.2.1 Radar LPI	36
6.2.2 Radar TWS	38
6.2.3 Radar Multifuncional	39
6.2.4 Radar quântico	42

6.3 Recursos de GE necessário para contraposição aos radares.....	43
7 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	46
ANEXO A – <i>Datasheet</i> Radar Artisan 3D	48

1 INTRODUÇÃO

GE é, radicalmente, uma definição militar. A DMN, estabelece como a exploração das emissões inimigas compreendida em toda faixa do EEM. Sua finalidade, assim, é buscar conhecer a ordem de batalha eletrônica inimiga, intenções e capacidades, e, também, utilizar medidas adequadas para negar o uso efetivo dos seus sistemas, enquanto se protege e utiliza, com eficácia, os próprios sistemas (BRASIL, 2017, p. 3-24).

Indo um pouco mais longe, a GE é uma das ações militares que pode ser enquadrada inclusive como Guerra de C², pois esse conceito está ligado intimamente ao estudo e ao planejamento, e como a GE visa obter superioridade e impossibilitar o funcionamento adversário, durante a fase de execução, em síntese, pode-se dizer que as atividades coexistem (DE MARTINO, 2018).

1.1 Apresentação do Problema

A GE é um conceito da guerra moderna que veio, tecnicamente, com a descoberta de sistemas que utilizam justamente o EEM no seu funcionamento. Em linhas gerais, ondas eletromagnéticas são transmitidas e retornam trazendo informações desde mensagens à detecção de um objeto. Com isso, a GE vem tomando conta do cenário armamentista mundial a partir do momento que o domínio do EEM passou a ser sinônimo de superioridade no aspecto militar. Nesse aspecto, a evolução tecnológica constitui um desafio para os sistemas de GE, visto que os radares e demais emissores avançam em seus recursos (*anti-jamming*, agilidade em frequência etc) e esses precisam acompanhar esse desenvolvimento de modo a se contrapor aos sistemas modernos.

1.2 Justificativa e Relevância

Por ocasião do surgimento de uma determinada tecnologia, busca-se novas formas de superar aquelas já criadas. Manter-se acompanhando as projeções da GE, observando as perspectivas para manter-se atualizado e ciente do que as demais forças armadas tem se equipado justificam a necessidade de se explorar a problemática.

1.3 Objetivo

Dadas as considerações supracitadas, o trabalho visa assim apresentar o que se espera da GE nos aspectos materiais, dada a busca contínua do domínio e negação do uso do espectro do eletromagnético, objetivo principal da GE, porém limitando o foco aos navios-escoltas da esquadra brasileira

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é, primeiramente, mostrar que a GE não se limita a equipamentos MAGE, MPE e MAE, conceitos que serão explorados no decorrer do trabalho. Ademais, frisar a necessidade de se manter o estudo e a pesquisa desse ambiente e de acompanhar as novidades eletrônicas que se apresentam no cenário armamentista, de modo a fomentar a mentalidade de GE continuamente.

1.3.2 Objetivos Específicos

Além do que foi mencionado anteriormente, o trabalho, inicialmente, ajudará a compreender um pouco sobre radar e seus tipos. Conhecer o que os navios-escoltas da esquadra brasileira possuem de GE a nível de radares, porém incluirá o novo NAM Atlântico, pois atualmente é onde se encontra o radar mais moderno que a MB possui. Posteriormente, pretende esclarecer o projeto das novas FCT que busca incluir um elenco de sistemas no estado da arte e, ainda, apresenta alguns radares modernos que inclusive já se encontram embarcados em navios de outras Marinhas.

1.4 Etapas do Trabalho

Para atingir o objetivo colimado, o trabalho inicia, no capítulo 4, realizando uma análise associativa entre GE e o conceito de C^2 , haja vista a importância que ambos os conceitos carregam no que tange aos aspectos táticos. Explicar brevemente sobre capacidade de C^2 que os navios-escoltas dispõe. E, finalmente, apresentar uma ameaça moderna que tem surgido contra a estrutura de C^2 e o exemplificá-la por meio de um acontecimento publicado.

O capítulo 5, para uma melhor compreensão, explica e apresenta tipos de radares utilizados em diversos ambientes do dia-a-dia. Em seguida, elenca os principais radares que os navios-escoltas da MB possui e, ao final, faz uma breve análise do novo radar embarcado no recém-incorporado à MB, NAM Atlântico.

O capítulo 6, descreve o que se espera da GE, as perspectivas desse ambiente. Para isso, versa sobre as FCT, mostrando as expectativas do projeto e os sistemas que se vislumbram nesses novos navios. Posteriormente, apresenta as projeções da GE, mostrando radares modernos que tem se destacados e exprimem a evolução da guerra discutida.

Por fim, na conclusão, capítulo 7, são feitas análises de cada assunto abordado no decorrer do trabalho, expõe dificuldades enfrentadas, uma sugestão à MB e um exame das FCT sobre desafios e responsabilidade do projeto perante ao Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para fundamentar o estudo desse trabalho, julgou-se assim necessário: Apresentar surgimento do conceito de GE; Explicar o conceito e a definição da natureza dessa guerra; e Apresentar autores que exploram o sabiamente o tema e que serão base desse trabalho.

2.1 Sinopse Histórica da GE

Historicamente, o marco inicial da GE foi registrado na Batalha Naval de Tsushima que praticamente decidiu a Guerra Russo-Japonesa em 1905. Em suma, a esquadra russa interceptou as comunicações de telegrafia sem fio, entre o Cruzador-Auxiliar Shimano Maru e o Almirante Heihachiro Togo, Comandante da Esquadra Japonesa. Mas, por algum motivo, o bloqueio eletrônico russo foi cessado e o Cruzador japonês conseguiu informar a posição da esquadra russa e, após travada batalha naval, os japoneses venceram a Guerra (BRASIL, 1999, p. 2-1).

Outro aprendizado é nos conflitos árabe-israelenses, Guerra dos Seis Dias e Yom Kippur, onde os israelenses apresentaram novos sistemas de GE que, à época, demonstravam elevada tecnologia. são Exemplos das tecnologias utilizadas por eles: mísseis infravermelhos portáteis; mísseis comandados por fio; e veículos aéreos não tripulados (UAV) e eletro-ópticos. (BRASIL, 1999, p. 2-2).

Além dessas ocasiões, há inúmeros registros que justificam o desfecho de conflitos armados quando há o pleno domínio e entendimento desse conceito por uma das partes. I GM, Batalha da Grã-Bretanha, II GM, Guerra do Vietnã, Guerra das Malvinas entre outros são outros episódios que comprovam a existência e a importância incontestável do emprego da GE, além de caracterizá-la como uma fonte perene de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias.

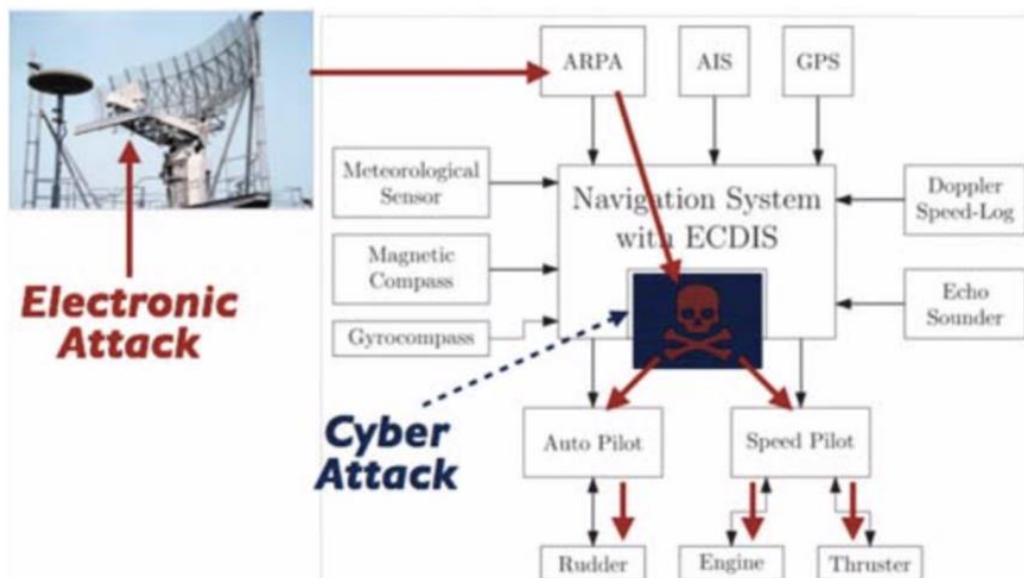
Tecnicamente, a trajetória da GE é nova comparada às das antigas guerras encontradas em literaturas de histórias. Conforme, exposto anteriormente, o curso da guerra foi mudado notoriamente somente a partir do século XX com o esforço eletromagnético na Batalha Naval de Tsushima, mas ainda se tratando de comunicações. Somente na II GM que se registram fatos com o uso do radar para detecção de aeronaves, onde então novas histórias de guerra passaram a ser contadas (BRASIL, 2016).

Com a evolução, radares e sistemas de armas passaram a atuar integralmente através de um sistema de controle. Um software capaz de extrair informações precisas dos emissores, desde a detecção até o cálculo para engajamento, reduzindo, assim, o tempo de decisão para neutralizar o inimigo. Destarte, com a evolução dos radares e seus mecanismos capazes de evitar certas retaliações eletrônicas, passou-se a enxergar novas possibilidades de ataques utilizando EEM, uma vez que radares e outros sistemas militares passaram a ser controlados por softwares (DE SÁ *et. al.*, 2019).

Com o esforço de não somente impedir o emprego de um determinado emissor, mas sim da matriz de controle, ataques eletrônicos passaram a atuar em conjunto um outro domínio, o ambiente cibernético. Denominado ataque ciber-eletrônicos, utilizam como porta de entrada, os mesmos dispositivos receptores de ondas eletromagnéticas, invadindo softwares com o intuito de manipular tarefas táticas e operacionais (DE SÁ *et. al.*, 2019).

Portanto, percebe-se que a guerra vem ganhando novas perspectivas, tornando-se mais complexa e recebendo componentes híbridos, que além de explorarem um determinado domínio passam atuar em conjunto com outros, o que prova a evolução na história das guerras e reafirma a permanente necessidade de se qualificar contra ameaças semelhantes. A figura a seguir ilustra essa nova estrutura de ataque:

Figura 2.1 – Ilustração de um ataque ciber-eletrônico em um navio



Fonte: DE SÁ, 2019, p. 2.

2.2 Conceitos da GE

O conceito de GE elucidado na introdução é apenas um suporte para os demais fundamentos. A DMN esclarece que:

Para ser capaz de conduzir a GE, o Poder Naval¹ precisa desenvolver uma ampla Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE), representada pelo somatório de meios e recursos de toda ordem que permita empreender eficazmente ações de GE em proveito de suas operações. Ela compreende o desenvolvimento de todo o processo de construção, de avaliação e de manutenção, meios especializados para esse fim e engloba as Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) e as Medidas de Guerra Eletrônica (MGE) (BRASIL, 2017, p. 3-24).

Atividades e medidas de GE ramificam e subdividem o conceito. Outros manuais nacionais e internacionais, também, permeiam por conceitos análogos a esse, demonstrando a singularidade e universalidade. Em linhas gerais, as atividades estão ligadas ao estudo, à pesquisa e ao planejamento. Já as medidas são ações, comportamentos e condutas. Nesta, sua natureza é fundamentalmente tática e seu emprego deve estar amparado por um planejamento e pela adequabilidade dos procedimentos e equipamentos utilizados. As MGE são divididas em três: *Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica* (MAGE), *Medidas de Ataque Eletrônico* (MAE) e *Medidas de Proteção Eletrônica* (MPE) (BRASIL, 2017, p 3-25).

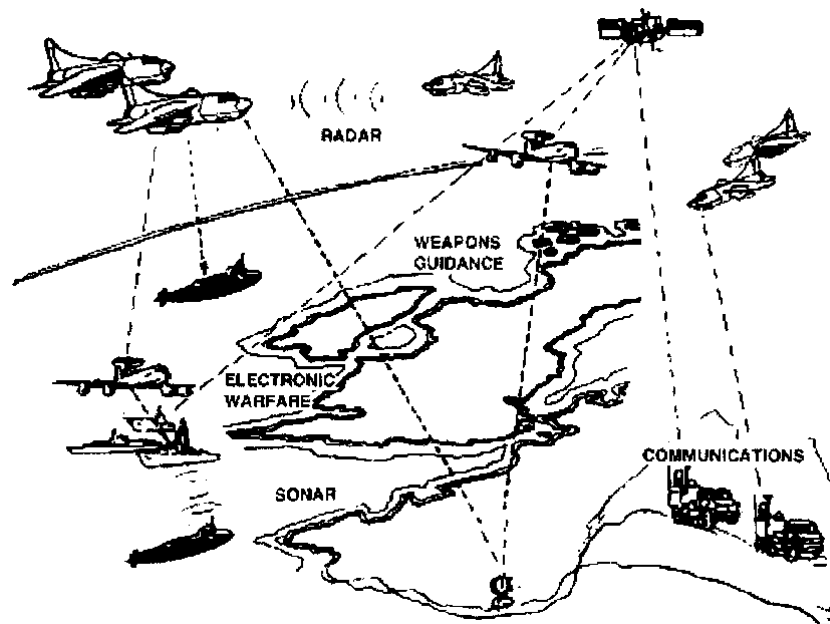
As MGE nada mais são que a aplicação dos resultados obtidos nas Atividades de GE. As MAGE, por definição, são empregadas para monitoração, busca de interceptação, localização, análise, avaliação e correlação e registro dos sinais eletromagnéticos irradiados pelo inimigo, com a finalidade de explorá-las em apoio às operações (BRASIL, 2017, p 3-25).

Já as medidas de ataque são para o impedimento ou redução do uso efetivo do EEM e, também, degradação, neutralização ou destruição de sua capacidade de combate por meio de equipamentos e armamentos que utilizem este espectro e podem ser subdivididas em não destrutivas e destrutivas. As de Proteção são, efetivamente, proteção de meios, sistemas, equipamentos, pessoal e instalações, a despeito do emprego de MAE por forças amigas e inimigas (BRASIL, 2017, p 3-25).

¹ Poder Naval é um componente Poder Marítimo, capaz de atuar no mar, nas águas interiores e em certas áreas terrestres limitadas de interesse para as operações navais, visando a contribuir para a conquista e a manutenção dos objetivos identificados na Política Nacional de Defesa (PND) (BRASIL, 2017, 1-4).

Em síntese, são norteados nessas medidas, pautados e focados nessa subdivisão, que sistemas de GE são desenvolvidos e classificados. Qualquer sistema inovador dentro do cenário de defesa militar, sejam eles sensores, armamentos e até plataformas (tanques, navios, drones, carros) são funcionalmente enquadrados em uma dessas medidas. Elas, em outras palavras, são a gênese do desenvolvimento, ou seja, um sistema ora será de Apoio, ora de Ataque ora de Proteção Eletrônica.

Figura 2.2 – Plataformas terrestres, marítimas e aéreas em um ambiente tático.



Fonte: SPEZIO, 2002, p. 635

André Martino (2018) explica que na guerra moderna quanto maior a distância do inimigo, mais seguro estarão seus recursos e menor probabilidade efetiva de sofrer retaliação inimiga. E para isso, sistemas, sensores, rastreadores e armas tem sido projetado para detectar, identificar e atingir alvos a distâncias cada vez maiores, com maiores velocidades e ainda não serem detectados. Dessa forma, para se obter uma probabilidade maior de sucesso durante uma operação, os sistemas de armas de longa distâncias precisam estar integradas com sensores eficientes e precisos com capacidade de detectar e rastrear alvos a longas distâncias.

Observar-se que a ideia da GE, enfim, é baseada em fazer uso do EEM, desenvolvendo sensores com amplas capacidades tanto de longas detecção quanto de rápido rastreamento, isto porque com o passar do tempo quanto mais distante se detectar o inimigo e se mantiver do fora dos alcances das suas armas, maior é probabilidade de sobrevivência e, assim, neutralizá-lo.

2.3 Literaturas exploradas

Todo esse estudo a cerca da GE já é bastante explorado, principalmente, nas cadeiras acadêmicas militares, lugar onde mais se discute sobre o tema. Contudo alguns autores como Andrea de Martino, Merrill Skolnik, Fellippo Neri tem suas literaturas consagradas quando se pesquisa a cerca de sistemas de GE, explicando desde radares à mísseis, conceitos, fundamentos, teorias, funcionamentos e outros.

Muitos artigos, trabalhos e monografias carregam nas suas referências todo estudo apresentado por esses autores. Todavia, cabe ressaltar que a nível de conhecimento militar apenas Andrea Martino faz algumas considerações nos seus capítulos iniciais. O tema em si como é de cunho militar, muitas literaturas tornam-se reservadas e de difícil acesso o que limita e reduz a possibilidade de assuntos mais específicos.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizado uma pesquisa de cunho exploratório, de natureza bibliográfica, sucedendo uma análise expositiva de alguns assuntos. Utilizou técnica de análise de dados qualitativa de fontes de pesquisa como livros, artigos e algumas publicações, a partir da coleta de informações acerca do tema proposto. Como dito anteriormente, pelo cunho sigiloso e estratégico para os diversos países que dominam as tecnologias de GE, existe carência de documentação técnica na literatura ostensiva.

4 COMANDO E CONTROLE

O intuito desse capítulo é fazer um paralelismo do conceito que ora se inicia com o da GE e aprofundar conhecimentos a fim de atingir um melhor entendimento acerca do funcionamento da GE dentro do ambiente militar.

De acordo com a política para o sistema militar de C² publicada pelo Ministério da Defesa do Brasil:

C² é a ciência e arte que trata do funcionamento de uma cadeia de comando e envolve três componentes imprescindíveis e interdependentes: a) a autoridade, legitimamente investida, da qual emanam as decisões que materializam o exercício do comando e para a qual fluem as informações necessárias ao exercício do controle; b) o processo decisório, baseado no arcabouço doutrinário, que permite a formulação de ordens e estabelece o fluxo de informações necessário ao seu cumprimento; e c) a estrutura, que inclui pessoal, instalações, equipamentos e tecnologias necessários ao exercício da atividade de C² (BRASIL, 2015, 14).

Uma analogia defendida por Andrea de Martino (2018) é que a GE é uma das ações militares que pode ser enquadrada como “Guerra de C²”, cujo objetivo é obter superioridade e impossibilitar o funcionamento do C² adversário. E ele ainda diz que o domínio e o pleno entendimento da GE são de suma importância, pois ataca em operações de combate, contribui para a proteção contra outros ataques e fornecem apoio e informações que podem ser usadas para o planejamento e a tomada correta de decisões. Decerto, o êxito desse elenco prova a eficácia de uma boa estrutura de C²

Essa complexidade do C² compreende desde o processo de planejamento, de decisão até a execução, e é nesta última, quando do uso de tecnologias e equipamentos, que os sistemas estão associados. Como nas palavras de Andrea de Martino, por ocasião do uso de quaisquer daquelas medidas: apoio, ataque e proteção eletrônica, todas envolvem desde aquele primeiro processo até o último. E ele ainda esclarece:

Em síntese, os sistemas de GE e a estrutura de C² são, na verdade, os canais através dos quais as decisões dos comandantes, com base nas informações e análise que fluem através desses sistemas, são pensadas e tomadas às forças do campo de batalha (DE MARTINO, 2018, p.2).

As doutrinas e conceitos sobre a GE balizam o *modus operandi* durante uma operação, dado que dentro de um ambiente militar, organização e planejamento são requisitos fundamentais para se alcançar o sucesso em uma missão. E esses fundamentos tanto de C²

quanto da GE quando bem estudados e bem planejados aumentam a probabilidade de se conquistar um determinado objetivo.

Consoante o esclarecimento de Martino na citação anterior, compreende-se que se a estrutura de C^2 , que está diretamente relacionada com planejamento estratégico e tático de uma guerra, e os sistemas de GE (radares, rastreadores e sistemas de armas), que são os canais de execução do planejamento oriundo do C^2 , estiverem bem definidos e alinhados, as chances de êxito aumentam.

Com isso, é importante compreender que o ideal ao se fazer uma GE, ou seja, ao se fazer frente ao inimigo com uma determinada estrutura de sistemas eletrônicos, é que se disponha de sistemas alinhados, integrados, precisos e modernos superiores àqueles que serão enfrentados. E partir do momento que um navio-escolta, navios com maior poder bélico dentro de uma força naval, alcançam tal condição o planejamento do C^2 é facilitado, haja vista ele irá dispor de um poder de combate com amplas possibilidades de emprego.

Faz-se mister esclarecer que os navios-escoltas da MB dispõe de sistemas controle tático capazes de receber informações de todos os sensores e processá-los, calculando rumos, velocidades e outros dados, o quais são softwares responsáveis pela integração dos sensores a bordo, supracitado no tópico 2.1. Tais informações são apresentadas em console, onde é tomada a decisão de engajar os alvos selecionados e o armamento a ser utilizado. Toda essa estrutura, materializa a capacidade de C^2 .

Dessa forma, quando se é dito que um meio de superfície possui capacidade de C^2 , em outras palavras, é por desfrutar de um sistema de controle tático o qual apresenta informações táticas e estratégicas dentro de um cenário naval. Em contrapartida, dado o elevado nível de importância dessa capacidade, ataques também aproveitando o EEM, usando a antena de um radar como porta de entrada, tem se apresentado. Seu objetivo é invadir esses softwares, seja por manipulação de códigos ou instalação de vírus, e causar danos às plantas físicas do navio.

Ataques dessa natureza, tem sido recorrente, não somente no âmbito militar, mas também entre países politicamente rivais, com intuito de causar danos às instalações estrategicamente importantes para aquele país. Pela automação computacional e a interligação em rede dos sistemas de controle, energia e propulsão dessas instalações, códigos maliciosos ou vírus são inseridos para infectar o sistema, mudar o modo de operação ou até destruí-lo.

Tal conjuntura, constitui a maior vulnerabilidade da capacidade de C^2 , uma vez que tais danos são capazes de neutralizar radicalmente o sistema sob controle inimigo, sem ao menos ocorrer um lançamento de arma, impedindo o emprego de toda capacidade de GE.

4.1 Ataques cibernéticos à sistemas de controle

Para exemplificar a cerca desses ataques cibernéticos que vem operando em conjunto com a GE, segue um recente acontecimento à uma usina nuclear iraniana publicado em 11 abril do corrente ano pelo jornal *The New York Times*:

Segundo o jornal, uma falha de energia que pareceu ter sido causada por uma explosão deliberadamente planejada, atingiu o local de enriquecimento de urânio de Natanz no Irã. Descrito como um “terrorismo nuclear” por autoridades iranianas, eles acreditam ter sido orquestradas por Israel já que esses país são adversários políticos declarados (BERGMAN *et. al.*, 2021).

O Irã não disse exatamente a causa do *blackout* do local altamente fortificado, que já foi alvo de ataques israelenses anteriores, porém funcionários da inteligência americana e iraniana disseram que houve papel israelense. Autoridades que se pronunciaram sob anonimato para descrever a operação israelense, disseram que a explosão que ocasionou a falha de energia, afetou severamente a capacidade do Irã de enriquecer o urânio e que pode levar pelo menos nove meses para restaurar a produção (BERGMAN *et. al.*, 2021).

Alguns especialistas iranianos especulam ter sido um ataque cibernético, porém outros descartam a possibilidade, haja que vista que o local tem sua própria rede elétrica, vários sistemas de *backups* e níveis de proteção de segurança inteiramente destinadas a impedir que qualquer ataque desligue abruptamente os sistemas (BERGMAN *et. al.*, 2021).

Israel por questões políticas não nega ou afirma terem sido os causadores do ocorrido, contudo, táticas que variam de ataques cibernéticos à assassinatos diretos, já foram realizadas por Israel ao trabalho nuclear iraniano, incluindo um assassinato do desenvolvedor-chefe do programa nuclear no último mês de novembro (BERGMAN *et. al.*, 2021).

Em suma, a notícia descrita, concentrou atenções não só políticas, mas sobretudo de especialistas dedicados aos assuntos cibernéticos, dada a gravidade e a repercussão da situação e a natureza do ataque. Uma vez provado ser de origem cibernética, questões serão levantadas: Até onde a capacidade israelense de invadir um sistema é possível? E quais são os limites de proteção contra esse tipo de ataque?

Diante desse fato, é importante esclarecer que os dados dos sistemas de armas de navios tramitam através de rede ethernet dentro do sistema de comando e controle, e também há tráfego de dados por meio de propagação eletromagnética (radares, sistemas optrônicos, mísseis). Desta forma, existe a possibilidade de ataques cibernéticos nesses meios, seja por

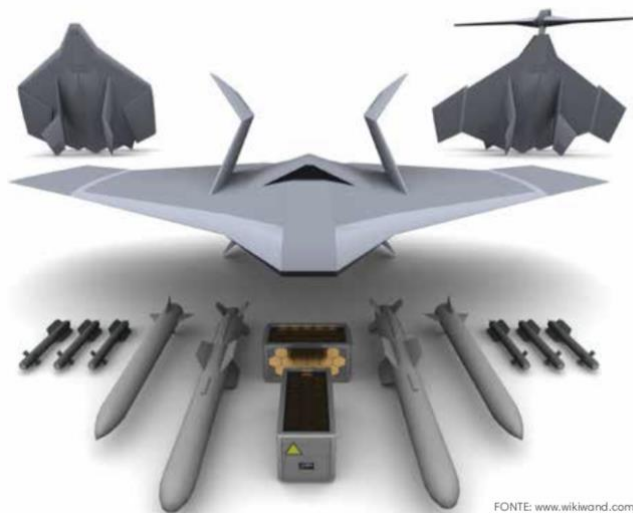
meio de instalação de "malware" em algum "firmware" ou por ações de interceptação e alteração de informações em códigos internos presentes nas ondas eletromagnéticas.

4.2 Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)

Os VANT são veículos aéreos controlados remotamente e no ambiente militar geralmente carregam radares, sistemas optrônicos e até armamentos. Além disso, podem ser utilizados para realizar bloqueios eletrônicos, captar informações de vídeo e de espectro eletromagnético de meios inimigos, isto é, obter informações de sinais radar, detectar a presença de plataformas em distâncias superiores ao alcance convencional e, ainda, realizar estudos nas diversas áreas de inteligência operacional de forma furtiva.

E sua utilização já uma realidade na GE. Com o avanço tecnológico, alguns modelos já operam com tecnologia *Stealth*, isto é, tecnologia de furtividade e, por sua estrutura menor, carregam aqueles sistemas supracitados em miniaturização. Outro aspecto importante é o emprego de laser de baixa potência, o qual pode ser empregado como arma de defesa, impossibilitando o oponente de visualizar ou confundir-lo com um míssil disparado. Desta forma, os VANT representam mais um desafio para os sistemas de GE dos navios da Esquadra (VIEIRA, 2018).

Figura 4.1 – VANT equipado com tecnologia *Stealth* e armamentos



Fonte: Revista Passadiço 2018

5 SISTEMAS

O ambiente físico é formado de desafios a oportunidades, ou seja, enquanto, a geometria de um terreno pode obstruir e dificultar a transmissão de um sinal, dutos de propagação podem melhorar sua transmissão e permitir a detecção e exploração além da faixa nominal.

A finalidade dos sistemas de GE desenvolvidos é sempre controlar o ambiente para obter superioridade para suas próprias forças e operar contra os sensores do inimigo, sobrepujando desafios e aproveitando as oportunidades, bem como realizar ações destinadas a reduzir desempenho inimigo, que por sua vez diluirão a eficácia de seus sistemas de armas. (DE MARTINO, 2018, p.16).

Esses sistemas de GE, como dito anteriormente, são usados para detecção, interceptação, bloqueio, destruição, reconhecimento, comunicação e identificação de alvos. Alguns desses, fornecem sua própria fonte de iluminação do alvo, com microondas, ondas milimétricas e radares a laser.

Expandindo um pouco mais, a GE não se limita em sistemas propriamente destinados a causar ou evitar danos ao EEM, como equipamentos MAGE, MPE e MAE, mas basicamente é tudo que consegue extrair a melhor vantagem do EEM. E na linha estratégica, os radares são cada vez mais imprescindíveis no seu emprego, pois, são capazes de detectar a longas distâncias, rastrear com agilidade, manipular suas frequências para que ao final, uma arma lançada neutralize o inimigo.

Com base nessas considerações, para uma melhor compreensão, serão elencados a seguir, exemplos de alguns tipos de radares, inclusive, encontrados em meios militares. Em seguida, serão apresentados os navios-escoltas da MB, navios no qual carregam os sistemas mais avançados e maior poder de fogo, e, por fim, apresentará o NAM Atlântico que, mesmo não sendo um escolta, carrega hoje o radar mais tecnologicamente avançado da Marinha.

5.1 Tipo de radares

À princípio, faz-se necessário saber o que é um radar. Segundo Skolnik (2008), radar é um sistema eletromagnético capaz de detectar e localizar. Transmite uma forma específica de onda senoidal e detecta a natureza do sinal do eco. Em outras palavras, o radar é utilizado para ampliar os sentidos de enxergar um determinado ambiente, especificamente a sentido da visão.

Entretanto, a capacidade do radar não está funcionalmente ligada em substituir a visão, mas fazer o que um olho não conseguiria fazer. Isso porquê o radar não resolve detalhes tão bem quanto um olho, nem é capaz de distinguir tão precisamente um objeto ou determinar o grau de sofisticação. Contudo, a projeção de um radar é para ver em condições incapazes à visão humana, como na escuridão, nevoa, nevoeiro, chuva e até neve. Além disso, vale ressaltar que o radar é capaz de apresentar informações do objeto, como: velocidade, distância e direção, a longas distâncias. Esse, talvez, seja o atributo mais importante.

Além disso, Skolnik (2008) esclarece que não há uma maneira única de caracterizar os radares devido aos diferentes empregos e características pelos quais são projetados e, geralmente, isto é realizado por meio do emprego que pode ser sua principal característica:

- a) Radar de pulso: Irradia uma série de pulsos. Pode ser chamada de forma canônica de um radar, considerado quando nada mais é dito para definir um radar, teoricamente uma forma simples.
- b) Radar de Alta Resolução: A alta resolução é obtida com o resultado dos parâmetros de alcance, marcação ou velocidade doppler, mas geralmente o parâmetro que melhor define alta resolução é a alcance. Alguns radares de alta resolução tem seu alcance em metros, mas podem ser tão pequenos quanto alguns centímetros.
- c) Radar de Compressão de Pulso: Radar que utiliza um pulso longo com modulação interna (geralmente modulação em frequência ou fase) para obter a energia de um pulso longo com a resolução de um pulso curto.
- d) Radar CW (Onda Contínua): Emprega uma onda senoidal contínua. Para detectar alvos em movimento ou para medir a velocidade relativa do alvo utiliza a mudança de frequência doppler.
- e) Radar FM-CW: Radar CW que emprega modulação em frequência (FM) como forma de onda para permitir identificar a distância.
- f) Radar de Vigilância: Detecta a presença de um alvo (como uma aeronave ou um navio) e determina sua localização em marcação e distância. Além disso, tem a capacidade de observar o alvo durante um período de tempo para obter seu track.
- g) Radar MTI (Indicação de alvo em movimento): Este radar é capaz de detectar o alvo em movimento através uma frequência de repetição de pulso (PRF)

relativamente baixa, que geralmente não tem ambiguidades de alcance. Ele tem ambiguidades no domínio doppler que resultam nas chamadas velocidades cegas.

- h) Radar Doppler Pulsado (RDP): Há dois tipos de radares Doppler pulsados, um que emprega PRF alto e outro, médio, porém ambos utilizam a diferença de frequência Doppler em alvos móveis. RDP com PRF alto não tem ambiguidades (velocidades cegas) em doppler, mas tem ambiguidades de alcance. Entretanto, RDP de pulso PRF médio tem ambiguidades tanto no alcance quanto no doppler.

Radar de Rastreamento ou Acompanhamento: Fornece uma trilha, ou trajetória, de um alvo. Os radares de rastreamento podem ser melhores identificados como rastreadores STT, ADT, TWS e phased array, quais sejam:

- a) Radar STT: Rastreia apenas um único alvo a uma alta taxa de dados, suficiente para fornecer o rastreamento preciso de um alvo em movimento, com tempo de atualização de 0,1 s (taxa de dados de 10 medições por segundo). Ele pode empregar o método de rastreamento monopulso para informações de rastreamento precisas de marcação do alvo.
- b) Radar ADT (Detecção e Rastreamento Automáticos): O rastreamento é realizado por um radar de vigilância. Pode acompanhar um número grande de alvos usando as medições efetuadas das varreduras da antena. Sua taxa de dados não é tão alta quanto o STT e as atualizações podem variar de 1 a 12 segundos.
- c) Radar TWS: Fornece uma região de vigilância estreita, uma taxa de atualização rápida e informações de localização de todos os alvos dentro de regiões angulares de observação limitadas. Ele foi usado no passado para radares baseados em terra que orientam as aeronaves até o pouso.
- d) Radar *Phased array tracker*. Possui capacidade de "continuamente" rastrear mais de um alvo em uma alta taxa de dados. Além disso, pode fornecer simultaneamente o rastreamento a uma taxa de dados menor semelhante ao funcionamento do radar ADT.

Radares de Imageamento: Esta categoria de radar produz uma imagem bidimensional de um alvo ou cena, como uma porção da superfície da Terra e o que está nela. Esses radares geralmente estão utilizados em plataformas móveis:

- a) Radar *Sidelooking Airbone* (SLAR): Este radar de imagem aerotransportado fornece alta resolução em alcance e obtém resolução adequada em ângulo usando uma antena de largura de feixe estreita lateral.
- b) Radar de Abertura Sintética (SAR): O SAR é um radar coerente² em uma plataforma em movimento que utiliza a fase do eco para obter uma imagem de um objeto com alta resolução. A resolução de alta faixa é frequentemente obtida usando compressão de pulso.
- c) Radar de abertura sintética inversa (ISAR): Já ISAR também é um radar de imagem coerente com alta resolução em alcance que utiliza também o movimento relativo do alvo para alcançar alta resolução no domínio doppler. Pode estar em um veículo em movimento ou pode estar parado.

Além desses tipos de radares, existem outros para ambientes terrestre, marítimo, ósseo, espacial, móvel, transportável, controle de tráfego aéreo, militar, de penetração no solo, banda ultra larga, outros definidos pela frequência banda em que operam (UHF, L, S e assim por diante) e outros mais. Porém esses são alguns que recebem destaque no ambiente de GE.

Após essa apresentação, é importante salientar que alguns deles vem ganhando mais espaço no elenco de sensores dos meios de superfície das Marinhas, principalmente nos navios-escoltas que, pelas explicações anteriores, possuem cada vez mais a necessidade de receberem os melhores equipamentos e os mais desenvolvidos.

5.2 GE nos escoltas da MB

A MB conta hoje com um elenco que se dividem em navegação, busca de superfície, aérea, combinada (aérea e de superfície) e de direção de tiro, porém com um nível tecnológico de décadas anteriores. Há ainda os radares de direção de tiro, porém não serão abordados nesse tópico. As informações a seguir foram retiradas no *site* Navios de Guerra Brasileiros, todas referenciadas ao final do trabalho.

As FCN modernizadas (FCNM), por exemplo, são equipadas com um radar de busca combinada RAN-20S, 2D, marcação e distância, italiano Alenia Marconi (atual SELEX, antigamente uma associação entre a BAE System e Leonardo SpA), correspondente ao nível

² implica que a fase do sinal do radar é usada como uma parte importante do processo do radar.

tecnológico de 1995, opera na banda S (2-3 GHz) e possui uma antena “planar array” estabilizada mecanicamente por meio de uma plataforma, com transmissor em estado sólido. Dentro das características de detecção, incluem também alvos aéreos a 60 milhas de distância (cerca de 110km), com uma precisão 20 m e precisão angular de 0,3°. O RAN-20S possui agilidade em frequência e filtro MTI, que permite separar ecos de alvos em movimento dos ecos da superfície sejam do mar ou da terra. A Fragata possui, ainda, um radar de busca de superfície, TERMA/Scanter MIL, usado também para navegação.

Figura 5.1 – Silhueta da Fragata Niterói Modernizada



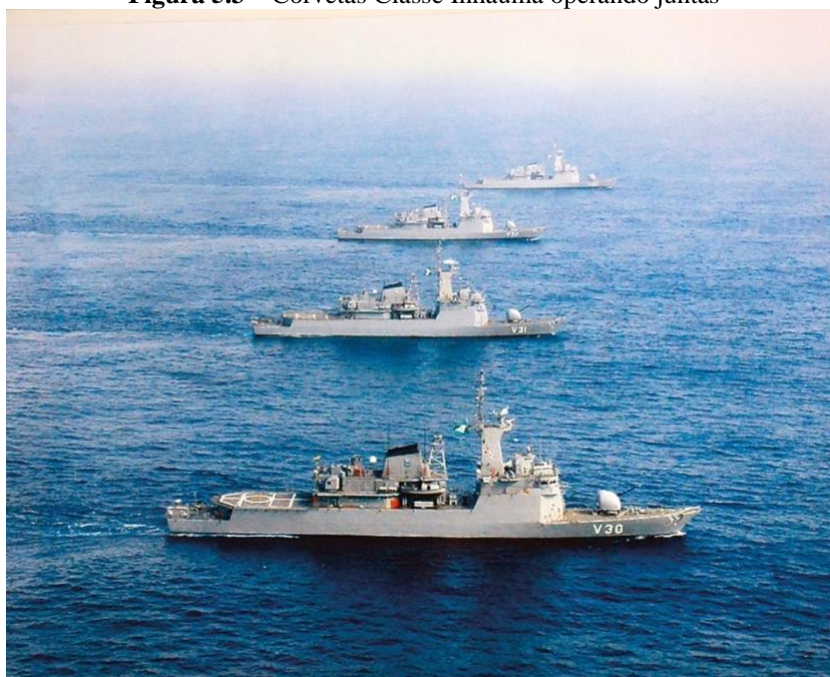
Fonte: site Poder Naval

Já as Fragatas Classe Greenhalgh (FCG), contam um radar de busca combinada (aérea e de superfície) Marconi Type 967-968. O 967 é um radar de buscar aérea que opera na banda L, integrado com o 968 da banda S do tipo busca combinada. Eles foram projetados para atender aos requisitos de alarme aéreo e de busca de superfície, combinada e designação de alvos. O processamento de sinal é capaz de variar a FRP para revelar ambiguidades de alcance. Além dessas funções, são utilizados para aquisição de alvos como fonte de dados para o radar de direção de tiro do Tipo 910 e para o radar de mísseis antiaéreos de defesa de ponto Sea Wolf GWS 25 Mod.

Figura 5.2 –Fragata Classe Greenhalgh

Fonte: site Poder Naval

As Corvetas Classe Inhaúma (CCI), incorporadas a partir de 1989, atualmente contando somente com a Cv Júlio de Noronha, dispõe de um radar de busca combinada tipo Plessey AWS-4 com IFF, semelhante ao das FCN antes da modernização, radares de navegação FT-250 (bandas X e S), fabricados pela Northrop-Grumman Sperry Marine, e um radar de direção de tiro Alenia (Atual Leonardo SpA) Orion RTN-10XFA.

Figura 5.3 – Corvetas Classe Inhaúma operando juntas

Fonte: site Poder Naval

A Corveta Barroso, último dos escoltas a serem incorporado à MB, 2008, tem seus sensores tático bem semelhantes aos das FCN. Radar de busca combinada RAN-20S, um radar de direção de tiro RTN-30X e radar de busca de superfície e navegação TERMA Scanter.

Figura 5.4 – Corveta Barroso



Fonte: site Poder Naval

Não obstante os sensores apresentados possuírem tecnologia de décadas anteriores, a MB desde seus escoltas mais antigos, FCN, busca manter a prontidão e o aprestamento dos seus meios para que, conforme a percepção das ameaças, tais meios sejam capazes de, assim, serem empregados como força de combate. Entretanto, é perceptível que, com a evolução dos meios e o com a avanço da GE, a necessidade de incorporar novos aspectos táticos e adequar seus meios navais de forma se opor às ameaças que porventura se apresente no horizonte estratégico que se firma na atualidade.

5.3 NAM Atlântico e o novo radar ARTISAN 3D

Introduzido através do Programa Estratégico de “Construção do Núcleo do Poder Naval”, que prevê a substituição gradual dos meios navais e aeronavais com o intuito de ampliar a capacidade operacional da Força Naval, a MB em 2018 incorporou o Navio-Aeródromo Multipropósito Atlântico que representou um grande passo para o ambiente de GE dos meios de superfície, mesmo não sendo um navio-escolta faz-se mister apresentá-lo nesse trabalho por atualmente possuir o radar mais moderno na MB. Mesmo equipado com outros sensores modernos, as atenções voltadas estão para o moderno Radar ARTISAN 3D Type 997, sendo a MB a primeira marinha a utilizá-lo, além da Marinha Real Britânica (PADILHA, 2018).

O Artisan 3D foi desenvolvido e construído pela BAE Systems para Marinha Real do Reino Unido, substituindo o radar de vigilância e direção de tiro Type 996 para o Type 997. Apesar de ser selecionado pela Marinha Real como radar de vigilância de médio alcance e designação de alvos de superfície, ele é também um radar de vigilância aérea, capaz de obter imagens de objetos tão pequenos quanto um pássaro. As condições de projeto do radar preveem um modelo compacto e leve, fato provado pelo sistema da antena pesar cerca de 700kg, o que permite uma instalação rápida e um número de pessoal reduzido. Com baixo custo de vida útil, possui um MTBCF³ maior que 5000 horas, o que permite uma maior confiabilidade e credibilidade no sistema (PADILHA, 2018).

Figura 5.5 – Antena Radar Artisan 3D e suas características



Fonte: Datasheet do Radar Artisan 3D

De acordo com a BAE Systems, apesar do seu tamanho, ele tem a capacidade de alcance de mais de 200km e pode rastrear até 900 alvos ao mesmo tempo, funcionando em sua

³ Time Between Critical Failures - Tempo médio entre falhas críticas, ou seja, tempo entre falhas que farão com que o sistema não atenda às especificações requisitos.

função de sensor primário com capacidade de rastreamento 3D⁴ e elevando a consciência situacional tática. Projetado para operar na frequência de banda E/F (2 a 4 GHz), o Artisan 3D é capaz de detectar e distinguir com eficiência embarcações de pequeno porte próxima a costa, o que prova sua capacidade de atuar em ambientes litorâneos, onde a guerra geralmente é assimétrica e mais danosa. Além disso, detecta pequenas aeronaves, assim como define ameaças de superfície e aéreas (PADILHA, 2018).

O *datasheet* do Radar, ainda elenca outros recursos de desempenho do Artisan:

- a) Adaptável para futuros sistemas de armas de defesa de navios;
- b) Oferece alta disponibilidade operacional e confiabilidade;
- c) Oferece um destacável desempenho no litoral, reduzindo a problema de ataques de ameaças assimétricas na detecção de pequenas embarcações ataque rápido, além de, detectar pequenos alvos aerotransportados;
- d) Dispõe de uma boa a qualidade para gerenciamento de tráfego aéreo;
- e) Tem a capacidade de ser empregado como radar de navegação secundário e como o sensor primário, contribui significativamente para a consciência situacional tática;
- f) Possui medidas de proteção eletrônica de ponta, mantendo os intervalos de detecção mesmo quando atacado por bloqueadores modernos;
- g) Baseado em software o que facilita a atualização do sistema; e
- h) Fornece informações dos alvos em 3D (marcação, elevação e distância).

⁴ Rastreamento 3D é o tipo de acompanhamento que fornece informações dos alvos em 3 dimensões, possui 3 graus de liberdade (x, y, z) e com isso fornece marcação, elevação e distância do alvo.

Figura 5.6 – Antena Radar Artisan



Fonte: site Poder Naval

O radar conta ainda com recursos importantes para GE, a saber: agilidade de frequência, capacidade do sistema de mudar rapidamente a sua frequência de operação, tornando-o mais difícil de localizá-lo. Tecnologia *beamforming* adaptativa, técnica digital que focaliza o transmissor e receptor do radar em uma direção específica. Além de compressão de pulso digital que permite aumentar a resolução do alcance, bem como a relação sinal-ruído. Outros aspectos e características são bem elucidadas no Anexo A desse trabalho, *datasheet* do radar.

Cabe ressaltar que o radar não possui válvulas, e sim componentes em estado sólido (transistores de potência), como elementos principais dos amplificadores de potência do transmissor do radar. Os amplificadores de potência são controlados eletronicamente pelo computador do radar.

6 PERSPECTIVAS DA GE

A evolução tecnológica e as mudanças do cenário de guerra naval alteram constantemente o curso da GE. Nesse contexto, ressaltam-se a situação dos navios-escoltas em operação nas Marinhas renomadas como dos Estados Unidos, Inglaterra, Japão que se deparam frequentemente com notícias de novas tecnologias, desenvolvem outras e, para manter-se qualificados para a guerra moderna atualizam e revisam seus sistemas constantemente.

Os níveis tecnológicos dos escoltas da MB carecem de substituição. Em visto disso, é que surge a nítida e célere necessidade incorporação de novos aspectos táticos para adequar às ameaças que por ora não se apresentam, mas que se porventura apontados os meios estejam preparados.

Dessa maneira, esse capítulo pretende apontar algumas tecnologias que já se apresentam como novidades da GE, com enfoque em radares, mas inicialmente, elucidará sobre o futuro dos navios-escolta da MB: as FCT que prometem embarcar novos aspectos táticos e atualizará a mentalidade da GE com sensores modernos e integrados.

6.1 Fragatas Classe Tamandaré

As FCT é mais um projeto daquele programa de “Construção do Núcleo do Poder Naval”. A construção desses navios proporcionará uma nova perspectiva da GE para MB, tendo em vista a capacidade eletrônica dos sistemas previstos na composição da classe. Além disso, a chegada da Classe Tamandaré preencherá o espaço deixado pela baixa de alguns meios da Esquadra brasileira nos últimos anos, quando tornar-se-ão os principais meios de superfície responsáveis por manter a soberania nas áreas de interesse do Brasil (ITO, 2019).

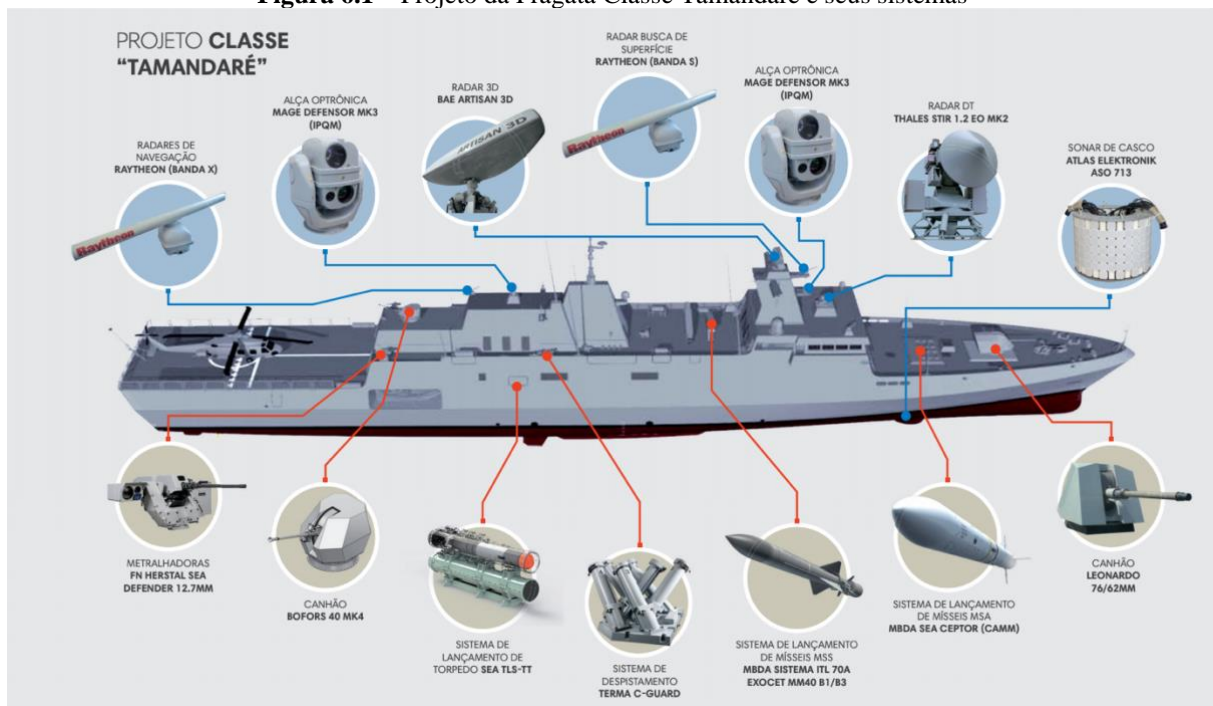
Com intuito de elevar e qualificar a esquadra aos níveis estratégicos da guerra moderna, o projeto desses navios-escoltas contará com sistemas mais avançados, permitindo um salto tecnológico considerável dos escoltas brasileiros. Além dos sistemas de armas modernos como os mísseis superfície-ar (MSA) Sea Ceptor de lançamento vertical, sistema pioneiro na MB, as fragatas contarão ainda com o moderno radar Artisan 3D, discutido no tópico anterior, que desempenhará também o papel de radar de direção de tiro (ITO, 2019).

Dentro dos sistemas que incrementarão a GE, a classe Tamandaré contará com o Sistema de despistamento Terma C-Guard e o MAGE Indra Rigel. Entretanto, algumas

alterações na configuração do pacote de equipamentos de GE são esperadas, a fim de incorporar mais sistemas, capazes de fomentar a capacidade de domínio do EEM. Ressalta-se, entretanto, que devido a natureza do projeto ser de caráter sigiloso, a definição dos equipamentos que comporão a classe não foi amplamente divulgada e muitos assuntos a cerca do projeto são difíceis de serem encontrados (ITO, 2019).

A imagem a seguir mostra alguns dos sistemas eletrônicos que poderão compor as fragatas:

Figura 6.1 – Projeto da Fragata Classe Tamandaré e seus sistemas



Fonte: Revista Passadiço 2019

A expectativa é que esse projeto traga uma nova perspectiva, um novo ponto de vista, uma nova visão e uma atualização aos meios de superfície da esquadra brasileira. Uma vez que as correntes mudanças no cenário de defesa internacional aumentam cada vez mais os níveis de exigências táticas dos navios e a desatualização tecnológica pode representar uma desqualificação para desempenho em determinadas missões e desafios oriundos mundo contemporâneo.

6.2 Radares modernos

Alguns sensores tem sido destaque no cenário armamentista e espera-se que tão logo algum deles componham o conjunto de sensores de navios brasileiros, com exceção do radar LPI que a MB já possui (Radar ARTISAN 3D). Ressalta-se que, conforme tem sido bastante destacado, pelas constantes mudanças e evoluções da GE tais sensores possuem capacidades aprimoradas que talvez nem todas sejam abordadas.

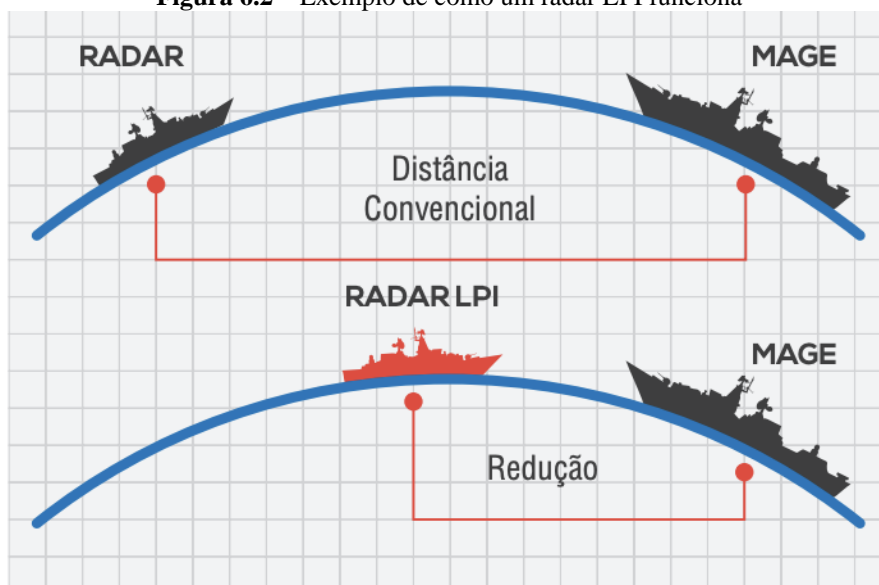
6.2.1 Radar LPI

Os radares LPI (*Low Probability of Interception*) são radares que tem tido uma grande repercussão pelo seu desempenho no ambiente de GE. Em vista disso, frequentemente estão sendo aprimorados a fim de melhorar sua capacidade e seu desempenho face o desenvolvimento contínuo de outros sensores. Com efeito, esses progressos conduzem desenvolvimentos avançados em cada uma das unidades da estrutura de funcionamento desse sistema (SPEZIO, 2002).

Um dos principais objetivos do radar LPI é reduzir a capacidade dos receptores modernos de detectarem e localizarem sua emissão, pois, do ponto de vista da GE, a interceptação de um radar, pode levar rapidamente ao bloqueio ou à sua destruição. E dentro desse contexto que ele pode ser qualificado como MPE (SILVA, 2019).

Em linhas gerais, esse tipo de radar utiliza uma forma de onda caracterizada por uma potência de pico muito baixa e uma largura de pulso muito longa para irradiar uma potência média destinado a evitar a interceptação da detecção. O receptor ainda faz uso de filtro casado apropriado, de forma que o desempenho do radar possa ser muito semelhante ao do radar tradicional irradiando a mesma quantidade de potência excedente (SILVA, 2019)

Figura 6.2 – Exemplo de como um radar LPI funciona



Fonte: Revista Passadiço 2019

A grande vantagem deste tipo de radar é que quase todos os atuais sistemas MAGE ainda não são capazes de detectá-lo em faixas úteis. Entretanto, é evidente que com tais mudanças, novos sistemas buscarão o desenvolvimento para alcançar uma sensibilidade de detecção muito maior (NERI, 2018).

Para alcançar o objetivo da baixa interceptação alguns requisitos técnicos foram aprimorados, a saber:

- a) Redução nos lóbulos secundários da antena: uma vez que essa redução ocorra a capacidade de interceptação do sinal é reduzida, tendo em vista a diminuição de potência fora do eixo de transmissão;
- b) Padrão de varredura irregular: geralmente, a fim de identificar um emissor, sistemas MAGE utilizam o padrão de varredura do radar como parâmetro de correlação para identificação de um sistema o radar. Radares convencionais empregam um padrão de varredura, conseqüentemente, podem ser identificados mais facilmente. Todavia, mudando-se este padrão aleatoriamente, a interceptação será dificultada e antenas com varredura eletrônica têm esta possibilidade;
- c) Gerenciamento de potência: Essa possibilidade minimiza a relação sinal-ruído a medida que a distancia radar-alvo diminui e faz com que receptores próximos classifiquem com uma ameaça de baixa prioridade;

- d) Alta sensibilidade: Capacidade processar um sinal de baixa potência baixa proveniente de um eco;
- e) Variação de frequência de operação: Esse aspecto é mais um mecanismo que dificulta a determinação da frequência exata por parte do sistema de interceptação, e, portanto, a identificação do emissor;
- f) Configurações monoestática e biestática (transmissor e receptor separados em distância): Para um sistema monoestático, a potência espalhada do transmissor é isolada do receptor. No entanto, para minimizar ataque, como exemplo de mísseis antirradiação, e aumentar a possibilidade do radar LPI detectar alvos “*Stealth*”, os modelos biestáticos são mais eficientes e, por fim;
- g) Grande largura de banda: Larga faixa da frequência de operação/grande ciclo de trabalho ativo.

É importante ressaltar que, apesar da sua característica de LPI, esses radares possuem a capacidade de detecção de alvo semelhante aos radares convencionais. Ao ser comparados com os comuns, eles, tão somente, transmitem sinais CW modulados em intervalos irregulares, com grande largura de banda em períodos de transmissão variáveis (DE MARTINO, 2018).

6.2.2 Radar TWS

Radar TWS (*Track While Scan*) é um sensor com modo de operação diferenciado pois aloca parte da sua energia para rastrear enquanto a outra parte é alocada para varrer, diferentemente dos rastreadores convencionais que empregam modo de rastreamento direto, isto é, direciona toda energia para acompanhar alvos adquiridos. Radares TWS tem a possibilidade de adquirir outros alvos e fornecer uma visão geral do ambiente, mantendo uma melhor consciência situacional (NERI, 2018).

A tecnologia TWS, tecnicamente, é possível com o trabalho em conjunto da tecnologia *phased-array* com um computador acoplado ao sistema. Antenas *phased-array* são práticas, pois empregam osciladores de frequência coerentes de alta potência que, ao mudar a fase entre uma série de pequenas antenas, o sinal adicionado pode ser direcionado eletronicamente, essa tecnologia será melhor apresentada posteriormente. Todavia, a tecnologia em questão teve seu incremento por ocasião da inserção de um computador e memórias associadas ao sistema, que permitiram a gravação de dados de varredura a varredura (NERI, 2018).

Funcionalmente, o radar realiza uma varredura e os sinais recebidos são enviados para um computador que desenvolve um “arquivo de trilha”. Na próxima varredura, caso haja novos ecos, novos arquivos são gerados, e havendo mudanças nos parâmetros dos ecos já processados, tais parâmetros são correlacionados com a gravação original e, assim, atualizado ou, dependendo das novas informações, esse arquivo pode ser descartado (NERI, 2018).

Um segundo sistema lê continuamente esses dados arquivados e os exibe para o operador com a série de parâmetros. Ao contrário do modo de rastreamento direto, radares TWS tem a vantagem de resolverem problemas de discriminação e detecção, apresentando informações coerentes e apropriadas.

Mesmo com a localização conhecida de uma ameaça, antenas de TWS permanecem realizando varredura e conseguem na próxima passagem pelo alvo, enviar energia adicional na direção de interesse. Portanto, apesar da antena não estar constantemente “iluminando” o alvo, isto é, parada apontando diretamente como faria tradicionalmente, energia suficiente é enviada naquela direção para permitir que um lançamento de arma seja realizado sem perdas de informações aparentes. Essa é a principal contribuição da tecnologia *phased-array*, permitir que o sinal apropriado seja mantido no alvo sem ter de permanecer apontada diretamente o que, com efeito, significa que outros alvos sejam acompanhados (NERI, 2018).

Estudos sobre a tecnologia TWS pode ser encontrada em literaturas relativamente antigas como do Skolnik publicada nos anos 80 e revisada nos anos seguintes, entretanto o desenvolvimento do TWS segue em paralelo com o desenvolvimento das antenas *phased-array* e dos microprocessadores que tornam o tempo de processamento das informações do alvo mais curto, permitem a aplicações em navios e plataformas em terra.

6.2.3 Radar Multifuncional

Levando-se em consideração que no passado radares *phased-array* não eram amplamente usados. Atualmente, radares AESA (*Active Electronically Scanned Array*) estão aparecendo cada vez mais no inventário da Forças Armadas empregados em missões multifuncionais (NERI, 2018).

AESA, na verdade, é um tipo de antena de *phased-array*, controlada por computador na qual o feixe de ondas pode ser eletronicamente direcionado para apontar em diferentes direções sem mover a antena. Variando as fases, é possível direcionar a direção da radiação. Os

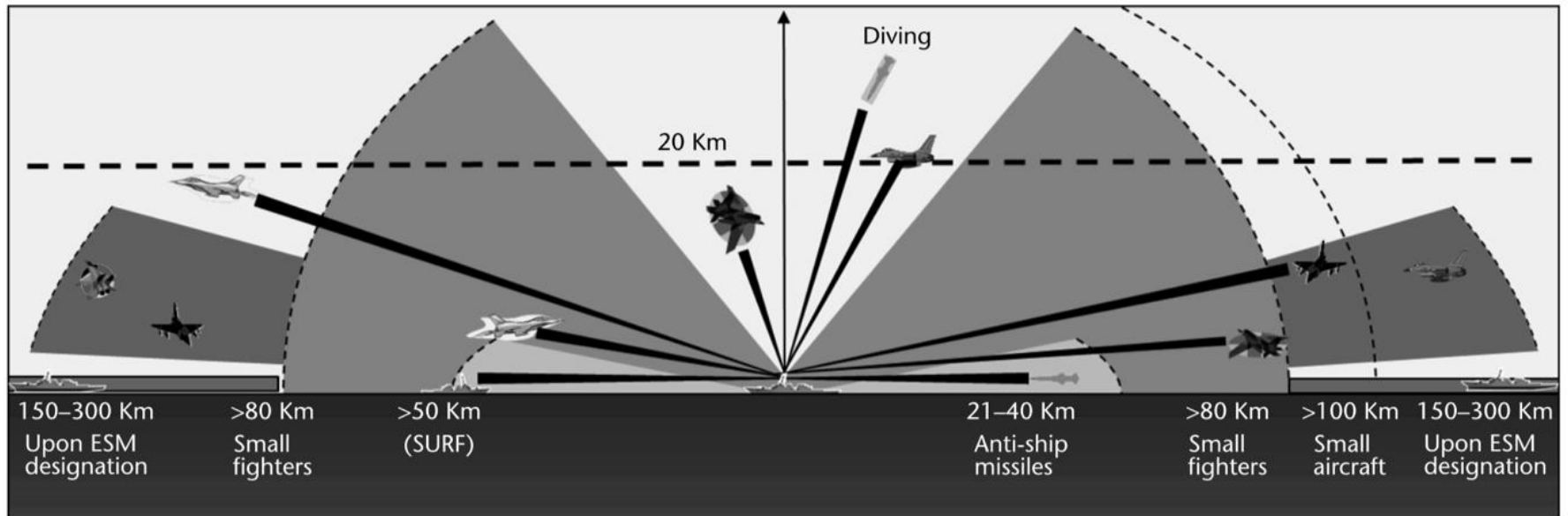
elementos irradiantes podem ser dipolos, guias de ondas ou qualquer outro tipo de antena. A flexibilidade oferecida por esse tipo de antena para direcionar o feixe por meio do controle eletrônico foi o que deu destaque à essa tecnologia (SKOLNIK, 2008).

A alta flexibilidade e o rápido direcionamento do feixe permitiram implementar em um único radar diferentes funcionalidades como busca, rastreamento, aquisição de alvos e outros. E por esse progresso, um radar foi capaz de acumular múltiplas funções. Nesse caso, denominado radar multifuncional (SKOLNIK, 2008).

Atualmente, plataformas modernas como navios, carros de combates e aeronaves utilizam radares multifuncionais com tecnologia AESA, o que, conforme mencionado anteriormente, permitem rápidas soluções desde a detecção até o engajamento de um alvo, não somente para um, mas para vários alvos simultaneamente. Um único sistema de mísseis controlado por um radar que pode detectar, rastrear e lançar concomitantemente muitos mísseis contra diferentes alvos de ambientes diferentes. Radares desse tipo *phased-array* são capazes de iluminar alvos continuamente, fornecendo assim solução de tiro para o alvo e para um possível míssil em ataque (NERI, 2018)

Do ponto de vista das MAGE, os radares multifuncionais representam uma “ameaça” principalmente, para sistema MAGE devido às diferentes formas de onda complexas que utilizam. Todavia, do ponto de vista das MAE, uma vez que sistemas multifuncionais se comportam como um simples radar como, por exemplo para função de busca, não se preveem dificuldades suplementares para tomar medidas de ataque (NERI, 2018).

Figura 6.3 – Radar multifuncional de médio-alcance



Fonte: Neri, 2018, p. 173

6.2.4 Radar Quântico

Finalizando esse elenco de sistemas modernos, algumas literaturas, como por exemplo do Fellippo Neri apresenta um radar que utiliza fótons ópticos e fenômenos quânticos, bem como fótons em microondas para melhorar o desempenho de detecção. Esse radar é, então, denominado, radar quântico.

O radar é composto por um gerador de partículas quânticas emaranhadas capaz de gerar um sinal de radiofrequência incluindo uma pluralidade de fóton, em que o comprimento de onda do sinal é a soma dos comprimentos de onda da pluralidade de fótons. Emaranhamento quântico é um fenômeno físico que acontece quando partículas podem ser separadas por uma distância maior do que a distância que um sinal se movendo à velocidade da luz cobriria no intervalo de tempo entre as duas medições (NERI, 2018).

Cabe ressaltar que a mecânica quântica está em grande parte ou até em tudo do mundo físico, incluindo os dispositivos utilizados para obter informações ao redor do mundo. A mecânica quântica limita a precisão de tais dispositivos por meio do princípio da incerteza de Heisenberg⁵, mas também fornece estratégias quânticas para superar os limites, como o limite quântico padrão (SHABIR *et. al.*, 2020).

Embora esse emaranhamento quântico em si seja frágil por natureza, o radar quântico tem algumas vantagens sobre os radares convencionais, como por exemplo, em baixos níveis de energia, radares convencionais normalmente sofrem de baixa sensibilidade, isto é, tem dificuldade em distinguir entre o eco de um alvo e o ruídos que ocorre naturalmente. Ao contrário, do radar quântico que busca através da iluminação quântica solucionar o problema, com o fato das semelhanças entre o sinal e os fótons intermediários gerados pelo emaranhamento quântico. (SHABIR *et. al.*, 2020).

A ideia desse método detecção quântica que busca melhorar a sensibilidade de detecção que já é estudada há algum tempo. Em 1992, uma patente foi proposta a fim de explorar um detector quântico para melhorar a sensibilidade dos radares convencionais. Em 2008, dando prosseguimento aos estudos outra patente foi concedida aos EUA e, em 2012, outro estudo sobre radar quântico baseado em iluminação quântica foi patenteado nos EUA (SHABIR *et. al.*, 2020)

⁵ O princípio da incerteza de Heisenberg propõe que em nível quântico quanto menor for a incerteza na medida da posição de uma partícula, maior será a incerteza de seu momento linear e vice-versa

6.3 Recursos de GE necessário para contraposição aos radares

Sistema de GE, como equipamentos MAGE, utilizam parâmetros como Largura de Pulso, Frequência de Repetição de Pulso, Padrão de Varredura, Frequência de Operação e outros para a identificação de emissores. Quando da interceptação dos sinais dos emissores, esses parâmetros baseiam-se em leituras convencionais, ou seja, leituras de sinais com padrões regulares de transmissão.

Com as características dos radares modernos elencados tanto nos tópicos 5.3 e 6.2.1 como a variação de frequência, compressão de pulso, padrão de varredura irregular e ainda a variação de FRP conhecida como, “*Staggered PRF*”, sistemas MAGE, que baseiam-se em leituras padrões daqueles parâmetros, com o propósito de se contrapor e obter uma informação precisa, tanto do emissor quanto da sua marcação, necessitam ser capazes de discriminar e processar corretamente os sinais que se utilizam desses artifícios.

Constata-se assim o que fora mencionado nos capítulos anteriores sobre a evolução dos sistemas e seus efeitos colaterais, quando determinado sistema evolui ou um recurso para ser contrapor é desenvolvido, certamente, é inevitável que outros sistemas surjam para se opor e então neutralizá-lo.

7 CONCLUSÃO

Diante das considerações a cerca dos avanços tecnológicos apresentados nesse trabalho, desde a breve explanação sobre a história da GE, quando utilizavam sistemas ainda embrionários à época, até por último a exposição de radares modernos atualmente estudados, conjectura-se que com essa evolução o aparecimento de novas ameaças e novas naturezas de ataques no cenário naval seja inexorável. Ameaças com melhores desempenhos, com elevado nível de prontidão e equipadas com sistemas de ponta corroboram com a necessidade de se estudar novas táticas e de incorporar novos escoltas.

No decorrer da pesquisa, foram elencados sensores que ainda fazem parte do sistema de combate dos escoltas da MB, onde a sua grande maioria são tecnologias da década de 90. A realidade imposta pelo tempo, comprova a dificuldade de mantê-los em pleno funcionamento, tendo em vista a obsolescência e a desatualização dos componentes. E conforme apontado no parágrafo anterior, sobre o surgimento de novas ameaças no cenário naval, a revitalização e atualização dos sistemas ora embarcados é uma necessidade que este trabalho aponta como esforço fundamental.

Vale ressaltar que mesmo com tecnologias obsoletas a MB ainda é capaz de operar e manter seus sistemas e ainda ter sucesso quando do emprego de seus meios em operações navais inclusive, notoriamente, em missões paz como no Líbano, onde o Brasil esteve no comando por 10 anos empregando as FCN, comprovando ainda a boa capacidade dos seus escoltas. Entretanto, isso não exclui a necessidade de um reaparelhamento.

Um ponto importante citado, foi a recente chegada do NAM Atlântico o qual trouxe novas perspectivas de GE para a MB, posto o radar tridimensional de alta tecnologia. A introdução desse radar representa um importante ponto de inflexão para a entrada de novos sistemas, assim como, outrora novos radares foram introduzidos durante a modernização da Classe Niterói. E dentro dessa perspectiva, para operar novos sistemas, estudos são necessários e esses estudos contribuem para construir novos conhecimentos e, conseqüentemente, elevam a mentalidade de GE na instituição.

Por fim, porém não menos importante, encontram-se as FCT, futuros escoltas da armada brasileira, que prometem trazer sensores no estado da arte e um sistema inédito de utilização da MB. Diversos desafios apresentar-se-ão desde finalização do projeto à prontidão desses escoltas, porém sua concretização permitirá a capacidade de enfrentar outros desafios

inerentes à guerra moderna, porém desafios de certa forma “evoluídos” pois a esquadra brasileira estará a altura daqueles que porventura possam se apresentar como ameaça ao país. Ademais, tão logo se concretize, as FCT terão a responsabilidade de incrementar a mentalidade de GE e de defesa das águas de interesse, garantindo a soberania do país.

REFERÊNCIAS

- BERGMAN, De Ronen. GLADSTONE, Rick. FASSIHI, Farnaz. *Blackout Hits Iran Nuclear Site in What Appears to Be Israeli Sabotage*. The New York Times, 11 de abril de 2021. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2021/04/11/world/middleeast/iran-nuclear-natanz.html>.
- BRASIL. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha. GE-101 Introdução ao Contexto da Guerra Eletrônica. Rio de Janeiro, RJ. 2016.
- _____. Estado-Maior da Armada. **EMA 305: DMN**. Primeira Edição. Brasília, DF, 2017.
- _____. Ministério da Defesa. Política para o Sistema Militar de Comando e Controle. Brasília, DF, 2015.
- _____. Estado-Maior do Exército. **Manual de Campanha C 34-1: Emprego da Guerra Eletrônica**. 2. ed. Brasília, DF, 1999.
- DE MARTINO, Andrea. *Introduction to modern EW systems*. Segunda edição. Boston Artech House, 2018.
- DE SÁ, A. O., BARBOSA, G. D. M., MACHADO, R. C., & DE ALMEIDA, N. N. Merging Electronic, Cybernetic and Kinetic Warfare in Naval Systems. In: 2019 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). IEEE, 2019. p. 1-3.
- ITO, Christian. O Futuro dos Navios-Escortas. Revista Passadiço, Niterói, RJ, Edição 39, p. 20-24, 2019.
- NERI, Filippo. Introduction to electronic defense systems. 3ª Edição. SciTech Publishing, 2018.
- PADILHA, Luiz. **PHM “Atlântico”**: O novo capitânia da esquadra. Revista Passadiço, Niterói, RJ, Edição 38, p. 24-28, 2018.
- PODER NAVAL. Navios de Guerra Brasileiros. Cv Barroso. Disponível em: <https://www.naval.com.br/ngb/B/B021/B021.htm>.
- _____. Navios de Guerra Brasileiros. F Niterói. Disponível em: <https://www.naval.com.br/ngb/N/N009/N009.htm>.
- _____. Navios de Guerra Brasileiros. F Greenhalgh. Disponível em: <https://www.naval.com.br/ngb/G/G048/G048.htm>.
- _____. Navios de Guerra Brasileiros. Cv Inhaúma. Disponível em: <https://www.naval.com.br/ngb/I/I035/I035.html>.

SHABIR ET. AL Barzanjeh, STEFANO Pirandola, DAVID Vitali, JOHANNES M. Fink. Construído primeiro protótipo de radar quântico. Revista Science Advances, volume 6, 2020. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=radar-quantico-prototipo&id=010150200513#.YHUz5hNKi9Y>.

SILVA, Maximiliano. **RADAR DE BAIXA PROBABILIDADE DE INTERCEPTAÇÃO:** A arte de “ver e não ser visto” na guerra eletrônica. Revista Passadiço, Niterói, RJ, Edição 39, p. 12-15, 2019.

SPEZIO, Anthony E. Electronic warfare systems. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, v. 50, n. 3, p. 633-644, 2002. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/989948?casa_token=kDHia7KP0VwAAAAA:L0Jp37L0VGO4bJMwW5dOr1nY3jNIy4ZOffQWp9UGZWzEV7mm2--eLe9fanZcT_nO9MLiqUxzSdJ36yw.

SKOLNIK, Merrill Ivan. Introduction to radar systems. Vol. 3. New York: McGraw-hill, 2008.

VIEIRA, Antônio José Ferreira. Emprego de Drones na Guerra Eletrônica Revista Passadiço, Niterói, RJ, Edição 38, p. 18-22, 2018.

ANEXO A – Datasheet do Radar ARTISAN 3D



Radar Naval Artisan

Os sistemas de sensores Maritime Services fornecem prontidão situacional e soluções de designação de alvo superiores

O Artisan está em serviço como o novo radar de vigilância de alcance médio da Royal Navy, com gerenciamento de tráfego aéreo e designação de alvos, para navios de superfície.

O Artisan otimiza a vigilância no ar e na superfície, com médio a longo alcance, mais designação de alvo de sistemas de armamento. Desenvolvido a partir de tecnologia testada e aprovada, a sua arquitetura é para o futuro.



Principais benefícios de desempenho

- Realiza todo o potencial dos sistemas modernos de míssil de armamento antiaéreo (AAW) e é adaptável a futuros sistemas de armamento de defesa de navios
- Oferece desempenho sem paralelo no litoral, particularmente na detecção de embarcações de ataque costeiro rápido e alvos aerotransportados no clutter
- Proporciona contribuição significativa à prontidão situacional tática na função de sensor primário
- Medidas de proteção eletrônica mantêm alcances de detecção mesmo quando sob ataque de bloqueadores complexos
- Oferece a qualidade de rastreamento requerida para gerenciamento de tráfego aéreo
- A estabilização eletrônica fornece um envelope de mastro menor e mais leve e maior confiabilidade
- Cumpre função de navegação secundária
- Radar centrado em software, permitindo facilidade para melhorias na capacidade.

Antena

Projeto de baixo peso	< 900 kg
Largura de feixe horizontal	< 2.0 graus
Raio de rotação da antena	30 rpm
Estabilização	Eletrônica
Lóbulos laterais baixos	
Isolamento do lóbulo lateral incorporado	
Resfriada a ar	

Instalação

Footprint do equipamento e serviços do navio requeridos

Equipamento	Altura	Largura	Profundidade	Água gelada da embarcação	Potência da embarcação
Antena	1,35m	4,1m	1,6m	Nenhuma - resfriada a ar	Nenhuma
Armário de geração e recebimento de sinal	1,56m	0,69m	0,68m	4 l/min	2 KVA
Armário de processamento de dados	1,56m	0,69m	0,68m	6 l/min	3 KVA
Armário de Energização da Antena	1,56m	0,75m	0,68m	5 l/min	15 KVA
Armário de Resfriamento da Antena	1.56m	0,9m	0,68m	49 l/min	18 KVA
Unidade de controle de giro	0,8m	0,6m	0,25m	Nenhuma	2 KVA

Para mais informações, entre em contato com:

BAE Systems Maritime Services
Newport Road, Cowes
Isle of Wight, PO31 8PF, Reino Unido
T: +44 (0) 1983 294141
F: +44 (0) 1983 202326
E: radaruk@baesystems.com
W: www.baesystems.com/radaruk

Aspectos funcionais

- Vigilância em 3D com alerta de alvo rápido
- Vigilância de superfície de navegação secundária
- Supressão e vigilância de obstáculos
- Suporte de interrogação Identificação Amigo ou Inimigo (IFF)
- Suporte de sistema de armamentos.

Baixo custo durante a vida útil

- Projetado utilizando componentes comerciais para prover alta confiabilidade e disponibilidade operacional
- Opções de Modelo de Apoio beneficiando-se da abordagem de contratação de disponibilidade
- MTTR < 30 minutos
- MTBCF > 5000 horas.

Dados de desempenho

Alcance instrumentado máximo	> 200 km
Cobertura de altura máxima	> 70 graus
Alcance mínimo	< 200 metros
Capacidade de rastreamento em 3D (ar & superfície)	> 800 alvos
Precisão da altura	0.6 graus
Alcance da declaração de rastreamento	
- Aeronave marítima	> 185 km
- Míssil	> 50 km

Processamento

- Tecnologia *beamforming* digital adaptativa
- Compressão de pulso digital
- Unidade de processamento Doppler usando filtros MTD adaptativos
- Extração de rastreamento avançada
- Apoio de classificação sofisticado
- Otimizado para desempenho de sistema de armamento.

Dados técnicos

Sistema:

- Quatro modos de operação, todos a 30 rpm
- Detecção e rastreamento totalmente automáticos
- Exclusivo para tecnologia *beamforming* digital oferece imunidade quanto a obstruções e interferências.

Transmissor

Banda de Frequência: Banda E/F

Tipo: Módulos de transmissão em estado sólido

Modos de transmissor: modo de navegação mínima ou plena potência

Agilidade de frequência



Isenção de responsabilidades e restrições sobre o uso

Esta publicação é emitida para fornecer apenas informações gerais. Nenhuma recomendação ou declaração concedida deverá, em qualquer circunstância, constituir ou ser considerada constituir, uma garantia ou representação pela BAE Systems quanto à precisão ou conclusão de tais recomendações, declarações ou avisos. A BAE Systems não será responsável por quaisquer perdas, despesas, danos ou reclamações de qualquer natureza oriundas da recomendação concedida ou não concedida, ou declarações feitas ou omitidas em relação a este documento. Nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida, copiada, adaptada ou redistribuída sob qualquer forma ou por qualquer meio, sem o consentimento expresso e por escrito da BAE Systems. BAE SYSTEMS é uma marca registrada da BAE Systems plc